

引文格式: 李归林, 黄佳聪, 蒋华, 等. 不同传粉模式对腾冲红花油茶坐果率的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2024, 39(1): 120–124. DOI: [10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).202303018](https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).202303018)

不同传粉模式对腾冲红花油茶坐果率的影响*

李归林^{1,2}, 黄佳聪^{1,2**}, 蒋华^{1,2}, 杨晓霞^{1,2}, 周娟^{1,2}, 董琼³

(1. 保山市林业和草原技术推广站, 云南 保山, 678000; 2. 保山市林业和草原科学研究所, 云南 保山, 678000;
3. 西南林业大学 林学院, 云南 昆明, 650224)

摘要:【目的】研究不同传粉模式对腾冲红花油茶(*Camellia reticulata* Lindl.)坐果率的影响, 为通过传粉和授粉管理提高腾冲红花油茶坐果率和栽培效益提供理论依据。【方法】以5个腾冲红花油茶种群为研究对象, 开展自然传粉和人工控制授粉试验, 对比分析风媒和虫媒传粉、自交和异交人工授粉、异交人工授粉和虫媒传粉间的坐果差异。【结果】5个腾冲红花油茶种群的虫媒传粉平均单株坐果率为20.31%, 极显著高于风媒传粉(3.54%, $P<0.01$); 异交人工授粉的平均单株坐果率为44.34%, 极显著高于自交人工授粉(7.40%, $P<0.01$), 也高于虫媒传粉。【结论】风媒传粉可少量坐果, 但虫媒传粉是腾冲红花油茶坐果的主要方式; 异交人工授粉有利于提高坐果率, 在无性系起源种群中尤为明显。品种合理配置、人工辅助授粉以及自交系良种培育可作为充分利用传粉授粉特性提高腾冲红花油茶坐果率和栽培效益的应用策略。

关键词: 腾冲红花油茶; 风媒传粉; 虫媒传粉; 人工授粉; 坐果率

中图分类号: S794.401

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X(2024)01-0120-05

Effects of Different Pollination Modes on Fruit Setting Rate of *Camellia reticulata* Lindl.

LI Guilin^{1,2}, HUANG Jiacong^{1,2}, JIANG Hua^{1,2}, YANG Xiaoxia^{1,2}, ZHOU Juan^{1,2}, DONG Qiong³

(1. Forestry and Grassland Technique Extension Station of Baoshan City, Baoshan 678000, China;

2. Forestry and Grassland Technical Institute of Baoshan City, Baoshan 678000, China;

3. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: [Purpose] To study the effects of different pollination modes on fruit setting rate of *Camellia reticulata* Lindl., providing a theoretical basis for improving the fruit setting rate and cultivation benefit of *C. reticulata* by pollination management. [Methods] Natural pollination and artificial pollination experiments were carried out in five populations of *C. reticulata*, and the differences of fruit setting rates between wind and insect pollination, artificial outcrossing and self-crossing pollination, and artificial outcrossing pollination and insect pollination were compared and analyzed.

[Results] The average fruit setting rate per plant of insect pollination in five populations of *C. reticulata* was 20.31%, which was extremely significantly higher than that of wind pollination (3.54%, $P<0.01$). The average fruit setting rate per plant of artificial outcrossing pollination was 44.34%, which was extremely significantly higher than that of artificial self-crossing pollination (7.40%, $P<0.01$) and higher than that of insect pollination. [Conclusion] *C. reticulata* can set a small amount of fruit by wind pollination, but insect pollination is the main way of setting fruit. Artificial outcrossing pollination is beneficial to increase the fruit setting rate, especially in clonal populations. To

收稿日期: 2023-03-08

修回日期: 2024-01-18

网络首发日期: 2024-02-26

*基金项目: 云南省职工创新基金项目(2022D09); 云岭产业技术领军人才培养基金项目(2015D30)。

作者简介: 李归林(1993—), 女, 云南隆阳人, 硕士, 工程师, 主要从事经济林栽培技术与推广工作。

E-mail: 2808786649@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 黄佳聪(1966—), 男, 云南腾冲人, 学士, 正高级工程师, 主要从事经济林良种培育与栽培技术研究。E-mail: bs_hjc@126.com

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/53.1044.S.20240226.1432.001>



make full use of pollination characteristics of *C. reticulata* to improve its fruit setting rate and cultivation benefit, we should rationally allocate varieties, artificially pollinate flowers and breed inbred improved varieties.

Keywords: *Camellia reticulata* Lindl.; wind pollination; insect pollination; artificial pollination; fruit setting rate

自然界中虫媒传粉相较于风媒传粉更加高效而普遍^[1-2], 部分植物虽然主要依靠虫媒传粉, 但风媒传粉也能坐果, 如越南篦齿苏铁^[3]、花毛茛^[4]、露蕊乌头^[5]和椰子^[6], 且虫媒传粉和风媒传粉相结合的传粉方式对提高坐果率具有积极作用。自然界中也存在自交不亲和的植物, 并出现自交坐果植株的现象, 如攸县油茶^[7]、湘林油茶^[8]、甜橙^[9]和红雉凤仙花^[10]的异交坐果率均显著高于自交, 但自交也可结实, 这种交配方式有助于促进植物坐果繁殖成功。因此, 开展自然传粉和人工授粉研究, 对探究植物主要传粉方式、授粉途径、品种合理配置以及创新良种培育途径和提高栽培效益具有重要指导意义。

腾冲红花油茶 (*Camellia reticulata* Lindl.) 又名滇山茶、云南山茶花, 为山茶科 (Theaceae) 山茶属 (*Camellia*) 常绿乔木, 是中国特有的木本食用油料及园林观赏兼用树种^[11], 因其观赏价值高、油用加工性能好、籽油质量优异而受到中国油茶科研和生产部门的高度重视^[12-13]。云南省腾冲市是腾冲红花油茶集中栽培和利用区域, 截至2022年, 该地腾冲红花油茶栽培面积 $1.56 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 投产面积 $1.10 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 平均干籽产量 140.3 kg/hm^2 (折合籽油约 30.9 kg/hm^2), 生产效率处于较低水平。腾冲红花油茶属于高度异花授粉植物^[14], 坐果率是影响其生产效率的主要因素之一, 已有学者研究了蜜蜂传粉^[15-18]、花前授粉时间选择^[19]、不同花期和植株不同部位方位^[20]以及花期物候^[21]对其坐果率的影响, 但尚未见风媒和虫媒传粉、自交和异交人工授粉对坐果率影响的研究报道。基于此, 本研究选择具有代表性的5个腾冲红花油茶种群, 设置系列试验揭示不同传粉模式对其坐果率的影响, 以期对腾冲红花油茶产业的可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

在腾冲市选择5个腾冲红花油茶典型林分开展

试验。样地1: 沙坝林场陡山营林区 ($24^\circ 56' 29'' \text{N}$, $98^\circ 35' 36'' \text{E}$, 海拔2200~2280 m), 砂质黄壤, 坡度 15° , 东坡; 纯林 200.0 hm^2 , 750株/ hm^2 , 中等抚育, 树高5.5 m, 地径12.8 cm, 冠幅 11.0 m^2 。样地2: 腾冲林推站油茶基地 ($25^\circ 03' 28'' \text{N}$, $98^\circ 28' 50'' \text{E}$, 海拔1680~1750 m), 黄壤, 坡度 15° , 全坡向; 纯林 13.3 hm^2 , 900株/ hm^2 , 中等抚育, 树高6.0 m, 地径7.8 cm, 冠幅 11.0 m^2 。样地3: 马站乡和睦村 ($25^\circ 09' 13'' \text{N}$, $98^\circ 30' 18'' \text{E}$, 海拔1940~2100 m), 火山灰壤, 坡度 10° , 全坡向; 散生林地 100.0 hm^2 , 300株/ hm^2 , 无抚育, 树高12.0 m, 地径22.1 cm, 冠幅 92.4 m^2 。样地4: 中和镇新歧村帽盔山 ($24^\circ 55' 40'' \text{N}$, $98^\circ 45' 33'' \text{E}$, 海拔2100~2250 m), 砂质黄壤, 坡度 30° , 东坡; 混交林 20.0 hm^2 , 500株/ hm^2 , 粗放抚育, 树高5.0 m, 地径6.7 cm, 冠幅 9.0 m^2 。样地5: 中和镇新歧村袁家地 ($25^\circ 09' 36'' \text{N}$, $98^\circ 59' 30'' \text{E}$, 海拔1940~2000 m), 黄红壤, 梯台地, 东南坡; 纯林 0.2 hm^2 , 330株/ hm^2 , 中等抚育, 树高2.0 m, 地径3.2 cm, 冠幅 1.7 m^2 。

样地1、2、4为通过人工直播造林形成的种群, 树龄43 a; 样地3为近天然起源的种群, 树龄>100 a; 样地5为运用从样地1种群筛选出的4株优树 (无性系) 培育的2年生扦插苗, 通过人工造林建成的种群, 树龄7 a。样地5种群植株个体相对矮小, 其余4个种群植株个体相对较高大。

1.2 试验方法

设置虫媒和风媒自然传粉以及自交和异交人工授粉试验。自然传粉试验在5个种群中开展; 人工授粉试验仅在样地2、5种群中开展, 与自然授粉试验同时进行, 且试验林分相同。

1.2.1 自然传粉试验

在5个种群中分别选取生长及开花正常的9~10株样株, 每株样株分别选取60朵花, 平均分为A、B组并作标记。A组花朵: 于花开放前1~3 d, 用90目、 $35 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 的轻质塑料网袋套住整朵花以及小花枝, 以阻止昆虫与花朵接触, 视为风媒传粉; B组花朵: 不做处理, 为自

由授粉。2018 年 6 月上旬生理落果结束后，统计每株样株的坐果数，并计算坐果率：坐果率=坐果数/处理花数×100%。各林分虫媒传粉的贡献为 B 组每株样株数据减 A 组的均值，若数值小于 0，则视为 0。

1.2.2 人工授粉试验

在样地 2、5 种群中分别选取生长及开花正常的样株 35 株和 16 株。样地 2 种群每株选择 34 朵样花；样地 5 种群包含 4 个无性系，每个无性系选取 4 株，由于树龄低、树体小，每株选择 20~34 朵样花。将每株样株上的样花平均分为 C、D 组并作标记，每组花均于花临开放前 1~3 d 进行人工授粉，C 组中提供花粉的花朵和授粉的花朵属于同一样株，D 组中互换样地 2、5 的花朵用于授粉。授粉的具体方法为：用毛笔从花朵雄蕊上蘸取花粉，轻柔地授在样花柱头上，用防水胶布迅速密封柱头。2018 年 6 月上旬生理落果结束后统计坐果数并计算坐果率。

1.3 数据统计与分析

使用 Excel 2007 整理数据；数据分析前，先对百分率数据进行反正弦平方根转换。使用 SPSS 20.0 分析数据，采用方差分析和 Duncan’s 多重比

较分析各种群间虫媒和风媒传粉坐果率的差异；由于样地 2 和样地 5 自交、异交的坐果率数据不符合正态分布，故采用非参数检验中的 Mann-Whitney 检验分析 2 个样地间自交和异交坐果率的差异。

2 结果与分析

2.1 风媒与虫媒传粉坐果率的差异

由表 1 可知：5 个种群风媒传粉和虫媒传粉的平均单株坐果率分别为 3.54% 和 20.31%，两者差异极显著 ($P<0.01$)。样地 1 种群的风媒与虫媒传粉间平均单株坐果率差异达极显著水平 ($P<0.01$)，其他 4 个种群的风媒与虫媒传粉间平均单株坐果率差异均达显著水平 ($P<0.05$)。5 个种群风媒传粉的平均单株坐果率为 0.67%~7.33%，其中样地 3、4 种群的风媒传粉平均单株坐果率 $\geq 7\%$ ，且两者间差异不显著 ($P>0.05$)，但两者均显著高于样地 1、2、5 种群，后三者风媒传粉的平均单株坐果率 $\leq 1.33\%$ ，且三者间差异不显著 ($P>0.05$)。5 个种群虫媒传粉的平均单株坐果率为 11.80%~27.07%，且各种群间差异不显著 ($P>0.05$)。

表 1 不同样地腾冲红花油茶风媒和虫媒传粉的单株坐果率
Tab. 1 The fruit setting rates per plant of *Camellia reticulata* in different sample plots under wind and insect pollination conditions %

样地 sample plot	风媒传粉 wind pollination				虫媒传粉 insect pollination				差异显著性 significance of difference
	最小值 minimum	最大值 maximum	平均值 mean value	标准差 SD	最小值 minimum	最大值 maximum	平均值 mean value	标准差 SD	
1	0.00	3.33	0.67 b	1.41	0.00	42.67	27.07 a	13.74	**
2	0.00	13.33	1.33 b	4.22	0.00	72.00	25.27 a	26.96	*
3	0.00	26.67	7.00 a	8.95	0.00	29.67	13.40 a	11.72	*
4	0.00	20.00	7.33 a	9.00	0.00	32.67	11.80 a	10.26	*
5	0.00	3.33	1.11 b	1.67	2.22	68.89	24.44 a	25.06	*
平均值 mean value			3.54	6.61			20.31	19.10	**

注：同列不同小写字母表示样地间的坐果率差异显著 ($P<0.05$)；下同。“*”和“**”表示风媒和虫媒传粉间的坐果率差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$)。
Note: In the same column, different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$) among sample plots; the same as blow. “*” and “**” indicate significant differences ($P<0.05$) and extremely significant differences ($P<0.01$) between wind and insect pollinations.

2.2 人工自交和异交授粉坐果率的差异

由表 2 可知：样地 2、5 种群异交授粉的平均单株坐果率 (44.34%) 极显著高于自交授粉 (7.40%)，样地 2 种群异交授粉和自交授粉的平均单株坐果率分别为 32.61% 和 5.38%，样地 5 种群异交授粉和自交授粉的平均单株坐果率分别为 70.01% 和 11.81%，各种群异交授粉的平均单株坐果率均极显著高于自交授粉 ($P<0.01$)。样地

2、5 种群间自交授粉的平均单株坐果率差异显著 ($P<0.05$)，两者间异交授粉的平均单株坐果率差异极显著 ($P<0.01$)。

3 讨论

坐果率是经济林果丰产性能优劣的重要指标，对林木繁衍生息亦具有重要意义^[22]，尤其对诸如腾冲红花油茶等大花朵型植物至关重要。本

表 2 不同样地腾冲红花油茶自交和异交授粉处理的单株坐果率
Tab. 2 The fruit setting rates per plant of *C. reticulata* in different sample plots under artificial self-crossing and outcrossing pollination conditions

样地 sample plot	自交 self-crossing				异交 outcrossing				差异显著性 significance of difference
	最小值 minimum	最大值 maximum	平均值 mean value	标准差 SD	最小值 minimum	最大值 maximum	平均值 mean value	标准差 SD	
2	0.00	35.29	5.38 b	9.61	0.00	88.24	32.61 B	30.28	**
5	0.00	50.00	11.81 a	14.55	17.60	100.00	70.01 A	21.70	**
平均值 mean value			7.40	11.64			44.34	32.74	**

注: 同列不同大写字母表示种群间差异极显著 ($P<0.01$); “***”表示自交和异交授粉处理间的坐果率差异极显著 ($P<0.01$)。
Note: In the same column, different uppercase letters indicate extremely significant differences ($P<0.01$) between populations; “***” indicates extremely significant differences ($P<0.01$) between artificial self-crossing and outcrossing pollinations.

研究表明: 腾冲红花油茶虫媒传粉的平均单株坐果率为 20.31%, 极显著高于风媒传粉 (3.54%), 表明虫媒传粉是腾冲红花油茶传粉坐果的主要方式, 风媒传粉亦能坐果但坐果率较低。葛雅婷等^[23]对油茶 (*C. oleifera* Abel.) 的研究发现: 花期放养中蜂和地熊蜂的油茶林坐果率为 21.92%, 防虫网兜套住花朵的对照组 (风媒传粉) 坐果率仅为 2.91%, 与本研究结果一致。由于将防虫网套住的花朵视为风媒传粉未剔除自花授粉等的影响, 虽然从诸多样株坐果率为 0 可以看出自花授粉等的影响并不高, 但可能会高估风媒传粉的贡献, 因此, 可认为腾冲红花油茶风媒传粉的贡献非常低。

样地 1、2、5 虫媒传粉的平均单株坐果率均高于或接近 25%, 高于样地 3 (13.40%) 和样地 4 (11.80%) 种群。究其原因, 一方面可能与经营状况和林分类型差异有关。样地 1、2、5 种群人工抚育强度较高, 而样地 3、4 无经营或经营粗放, 导致腾冲红花油茶植株营养水平有所差异, 进而影响其坐果率^[24-25]; 样地 1、2、5 为腾冲红花油茶纯林, 样地 3 为散生, 样地 4 为混生林, 而纯林更有利于昆虫传粉; 另一方面, 可能与其花部形态变异丰富有关^[26-27]。长期的调查观测和生产实践发现: 腾冲红花油茶的部分雄蕊或雌蕊变异为花瓣 (瓣化) 或柱头位置低于雄蕊甚至被浓密雄蕊遮盖密闭的植株, 其坐果率较低甚至为 0。总之, 尽管样地 1、2、5 种群的虫媒授粉坐果率明显高于样地 3、4 种群, 但是种群内个体间变异较大 (标准差值较大), 从而导致 5 个样地种群间的虫媒传粉坐果率差异不显著。

本研究中, 样地 2、5 种群人工异交授粉的平均单株坐果率为 44.34%, 极显著高于自交授粉 (7.40%), 也高于虫媒传粉, 与杨亚等^[7]对攸县油茶 (*C. yuhsienensis* Hu.) 研究结果的规律性一致。可见, 异交人工授粉有利于提高腾冲红花油茶的

果实产量。因此, 生产上可采用花期一致的多个品种进行方块状或条块状种植, 保证植株相互授粉; 在条件允许的情况下, 可于花期用喷雾器喷雾花粉进行人工授粉, 有助于提高坐果率, 增加产量。此外, 腾冲红花油茶与其他油茶属植物自交坐果率极低^[28-32]不同, 样地 2、5 种群内部分植株具有自交坐果能力, 一些单株的自交坐果率大于 30%, 甚至高达 50%, 这些植株可选为育种材料, 参与自交系育种试验, 培育自交系良种, 达到生产上简约化栽培单一品种实现丰产的目的, 提升栽培效益。

本研究显示: 样地 5 种群人工异交授粉的平均单株坐果率 (70.01%) 极显著高于样地 2 种群 (32.61%), 分析其原因可能是 2 个种群的起源不同, 样地 5 为优树无性系种群, 所用材料经过优选, 样地 2 为未经优树选择而直播造林形成的种群, 故样地 5 种群的人工异交授粉坐果率较高。样地 5 种群虫媒传粉的平均单株坐果率 (24.44%) 与样地 2 种群 (25.27%) 差异不显著, 分析其原因有以下 2 个方面: 第一, 尽管样地 5 种群的材料经过优选, 但种群内仅有 4 个花期一致性不高的无性系, 且栽培面积较小 (0.2 hm²), 加之树体较小, 花朵数量有限, 且周边 2 km 内无腾冲红花油茶林分, 导致林分吸引授粉昆虫的能力弱, 花粉来源有限, 进而影响授粉成功率和坐果率; 第二, 样地 2 种群为直播造林建成的林分, 栽培面积较大 (13.3 hm²), 其种群内种质资源相对丰富, 有较多与试验观测样株花期一致的植株, 可为昆虫提供花粉进而授粉的可能性高于样地 5, 导致其昆虫传粉坐果率与样地 2 非常接近。以上结果说明人工异交授粉可有效提高腾冲红花油茶坐果率, 在以栽培无性系品种为主要生产方式的腾冲红花油茶生产中, 多品种搭配种植、花期放蜂、花期人工喷雾花粉等人工辅助授

粉可提高坐果率, 进而提高产量。

4 结论

腾冲红花油茶虫媒传粉的平均单株坐果率极显著高于风媒传粉, 是腾冲红花油茶授粉坐果的主要方式; 人工异交授粉的平均单株坐果率高于虫媒传粉和人工自交授粉。因此, 充分利用虫媒传粉和异交授粉坐果率高的特性, 合理配置品种并开展人工辅助授粉是促进腾冲红花油茶丰产的高效栽培措施。此外, 部分植株人工自交坐果率达 30%~50%, 可利用这些单株开展自交系良种培育, 是纯化优良基因、创制新品种的有效途径。

致谢: 腾冲市中和镇新歧村、马站乡和睦村、林业和草原技术推广站、沙坝国有林场在野外调查中提供了支持, 中国林业科学研究院热带林业研究所曾杰研究员在论文撰写过程中给予指导, 特致诚挚谢意!

[参考文献]

- [1] 黄双全, 郭友好. 传粉生物学的研究进展[J]. 科学通报, 2000, 45(3): 225. DOI: 10.3321/j.issn:0023-074X.2000.03.001.
- [2] 朱亚如, 龚燕兵. 风媒传粉的研究方法探讨[J]. 生物多样性, 2017, 25(8): 864. DOI: 10.17520/biods.2017069.
- [3] 杨泉光, 李楠, 李志刚, 等. 越南篦齿苏铁传粉媒介的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(2): 129. DOI: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.02.003.
- [4] 陈银. 花毛茛不同授粉方式与结实量的研究[J]. 种子, 2007, 26(9): 70. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4705.2007.09.024.
- [5] DUAN Y W, ZHANG T F, HE Y P, et al. Insect and wind pollination of an alpine biennial *Aconitum gymnanthrum* (Ranunculaceae)[J]. Plant Biology, 2009, 11(6): 796. DOI: 10.1111/j.1438-8677.2009.00195.x.
- [6] MELÉNDEZ-RAMÍREZ V, PARRA-TABLA V, KEVAN P G, et al. Mixed mating strategies and pollination by insects and wind in coconut palm [*Cocos nucifera* L. (Arecaceae)]: importance in production and selection[J]. Agricultural and Forest Entomology, 2004, 6(2): 155. DOI: 10.1111/j.1461-9563.2004.00216.x.
- [7] 杨亚, 袁德义, 刘东明, 等. 不同授粉方式对攸县油茶坐果率及果实生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(2): 61. DOI: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2016.02.011.
- [8] 杨小胡, 陈隆升, 彭映赫, 等. 不同油茶无性系组合授粉亲和力的研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(1): 30. DOI: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2015.01.006.
- [9] 吴厚玖, 陈竹生, 陈克玲. 两个甜橙选择系自交和异交的亲和性观察[J]. 园艺学报, 1986, 13(4): 281.
- [10] 钟楠蝶, 王力, 肖杰, 等. 增温条件下花粉来源对红椎凤仙花生殖成功的影响[J]. 植物生态学报, 2022, 46(4): 416. DOI: 10.17521/cjpe.2021.0169.
- [11] 黄佳聪, 阚欢, 伍建裕. 腾冲红花油茶栽培与籽油制取技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [12] 卿卓, 苏睿, 赵文正, 等. 腾冲红花油茶1,6-二磷酸果糖醛缩酶基因克隆及组织表达分析[J]. 分子植物育种, 2018, 16(21): 6982. DOI: 10.13271/j.mpb.016.006982.
- [13] 李旦, 周安佩, 潘瑶, 等. 腾冲红花油茶的研究进展[J]. 西部林业科学, 2015, 44(3): 123. DOI: 10.16473/j.cnki.xblykx1972.2015.03.020.
- [14] 卿卓, 苏睿, 赵文正, 等. 腾冲红花油茶蜜腺2个发育时期转录组差异性分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(2): 185. DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201803045.
- [15] 张云毅, 郭媛. 蜜蜂为腾冲红花油茶授粉效果研究及技术推广[J]. 中国蜂业, 2022, 73(6): 61. DOI: 10.3969/j.issn.0412-4367.2022.06.030.
- [16] 李林庶, 董坤, 王友文, 等. 东方蜜蜂为腾冲红花油茶授粉效果研究[J]. 中国蜂业, 2014, 65(Z1): 33.
- [17] 李久强. 中西蜂为红花油茶授粉试验效果对比[J]. 中国蜂业, 2013, 64(10): 33.
- [18] 李林庶, 董坤, 王友文, 等. 意大利蜜蜂为腾冲红花油茶授粉效果研究[J]. 中国蜂业, 2012, 63(Z2): 46.
- [19] 黄佳聪, 龚发萍, 吴建花, 等. 腾冲红花油茶种内杂交花前授粉试验[J]. 经济林研究, 2014, 32(2): 130. DOI: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2014.02.032.
- [20] 辛成莲, 石卓功, 黄佳聪, 等. 腾冲红花油茶的坐果率及结实率研究[J]. 西部林业科学, 2011, 40(4): 60. DOI: 10.16473/j.cnki.xblykx1972.2011.04.021.
- [21] 谢胤, 曹永庆, 余祖华, 等. 腾冲红花油茶花期物候对座果率和产量的影响[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(6): 40. DOI: 10.3969/j.issn.1006-4427.2020.06.007.
- [22] 陈凌剑, 张琰, 廖国旺, 等. 湖北省三个油茶主栽品种的授粉品种选择研究[J]. 中国油料作物学报, 2022, 44(5): 1030. DOI: 10.19802/j.issn.1007-9084.2021248.
- [23] 葛雅婷, 赵文正, 杨慧鹏, 等. 引入中华蜜蜂和地熊蜂授粉对油茶座果率的提升效果[J]. 中国蜂业, 2022, 73(3): 60. DOI: 10.3969/j.issn.0412-4367.2022.03.027.
- [24] 唐健, 宋贤冲, 曹继钊, 等. 不同产量油茶林树体结构及生物量分配差异[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(12): 2848. DOI: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2013.12.061.
- [25] 高超, 袁德义, 袁军, 等. 花期喷施营养元素及生长调节物质对油茶坐果率的影响[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(3): 505. DOI: 10.13836/j.jjau.2012094.
- [26] 甘沛华, 李旦, 沈德周, 等. 不同瓣型腾冲红花油茶的遗传多样性与遗传结构分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2019, 39(4): 46. DOI: 10.11929/j.swfu.201902066.
- [27] 徐德兵, 郭玉红, 司马永康, 等. 腾冲红花油茶花朵在野生半野生状态下的自然变异[J]. 西部林业科学, 2018, 47(5): 46. DOI: 10.16473/j.cnki.xblykx1972.2018.05.008.
- [28] 江南, 谭晓风, 徐艳, 等. 油茶自交不亲和S-RNase基因鉴定与分子特征分析[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(5): 1521. DOI: 10.13430/j.cnki.jpgr.20220412004.
- [29] HE Y F, SONG Q Q, WU Y F, et al. TMT-based quantitative proteomic analysis reveals the crucial biological pathways involved in self-incompatibility responses in *Camellia oleifera*[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(6): 1987. DOI: 10.3390/ijms21061987.
- [30] ZHOU J Q, LU M Q, YU S S, et al. In-depth understanding of *Camellia oleifera* self-incompatibility by comparative transcriptome, proteome and metabolome[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(5): 1600. DOI: 10.3390/ijms21051600.
- [31] HE Y F, SONG Q Q, CHEN S P, et al. Transcriptome analysis of self- and cross-pollinated pistils revealing candidate unigenes of self-incompatibility in *Camellia oleifera*[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2020, 95(1): 19. DOI: 10.1080/14620316.2019.1632749.
- [32] 常维霞, 姚小华. 油茶无性系自交亲和性分析[J]. 林业科学研究, 2016, 29(4): 508. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2016.04.006.

责任编辑: 何馨成